

論文

Textile Composite의 구조와 물성(II)

- 부직포 복합재료의 기계적 물성과 충격 특성에 관한 연구 -

이승호* · 강태진*

Mechanical Properties of Textile Composite(II)

- Mechanical and Impact Properties of Nonwoven Glass Fiber Composite -

Sung Ho Lee* and Tae Jin Kang*

ABSTRACT

Mechanical and impact resistant properties of needle-punched nonwoven E glass fiber composite have been studied. The nonwoven composites showed an improvment in mechanical properties with increasing fiber entanglements caused by needle punching. At the same time the fiber damage during the needle punching process caused a decrease in mechanical properties of the nonwoven composite. The tensile strength of nonwoven composite showed a tendency to increase with punching density, however the modulus of nonwoven composite was decreased with increasing punching density so as the bending properties. The nonwoven composite showed more isotropic mechanical properties with increasing punching density. The absorbed impact energy of nonwoven composites was decreased with increasing punching density. The energy absorption capability of nonwoven composite under the repeated impact showed its maximum at the low range punching density of 30 penetrations/cm². The compression strength showed an inverse relationship with the punching density. The higher the punching density the smaller is the reduction in compression strength under impact. Overall the nonwoven composite showed an improved mechanical and impact properties with proper punching densities over the woven laminate composite.

초 록

부직포 복합재료의 기계적 물성과 충격 특성에 관하여 고찰하였다. 부직포 복합재료는 펀칭밀도가 증가하면 보강사의 entanglement가 증가하여 물성의 향상을 보이는 반면에 펀칭시 보강섬유의 손상이 발생하여 물성의 감소를 가져오기 때문에 적절한 펀칭밀도의 선택이 필요하다. 펀칭밀도가 증가함에 따라 부직포 복합재료의 인장강도는 증가하였으며 인장계수와 굽힘성질을 감소함을 보였다. 부직포 복합재료의 인장성질과 굽힘성질의 이방성은 펀칭밀도가 증가할수록 감소하였다.

* 서울대학교 섬유고분자공학과

충격에너지 흡수능력은 펀칭밀도가 낮을수록 우수하게 나타났으며 반복충격에 대한 구조보지성 또한 30 penetrations/cm²의 낮은 펀칭밀도를 갖는 부직포 복합재료가 가장 우수하게 나타났다. 압축강도는 펀칭밀도가 낮을수록 우수하였으며 충격후 잔여 압축강도는 펀칭밀도가 높을수록 적은 감소율을 보였다. 부직포 복합재료의 기계적 물성과 내충격성은 적절한 펀칭밀도에서 적층된 평직 복합재료 보다 우수하게 나타났다.

1. 서 론

일방향 또는 직물 구조의 보강재를 사용한 적층 복합재료는 외부 하중의 가해질 경우에 층간 분리가 쉽게 일어나고 이에 따라 구조물의 물성이 떨어지는 단점을 지니고 있다. 이러한 층간 분리에 의한 파괴를 극복할 수 있는 3차원 브레이딩[1~2], 3차원 위빙[3], 스티칭[4], 부직포 등의 3축 방향 보강 구조물을 이용한 복합재료는 층간 분리에 의한 파괴를 막아주어 우수한 구조 보지성과 피로 특성을 보여 준다. 이 중 부직포는 제작이 매우 용이하고 다른 3차원 구조물에 비해 크기의 제한이 거의 없다는 장점을 지니고 있어서 군사, 항공, 산업 등 분야에 널리 사용되고 있다[5~6].

Fig.1은 needle punching 부직포의 제작 과정을

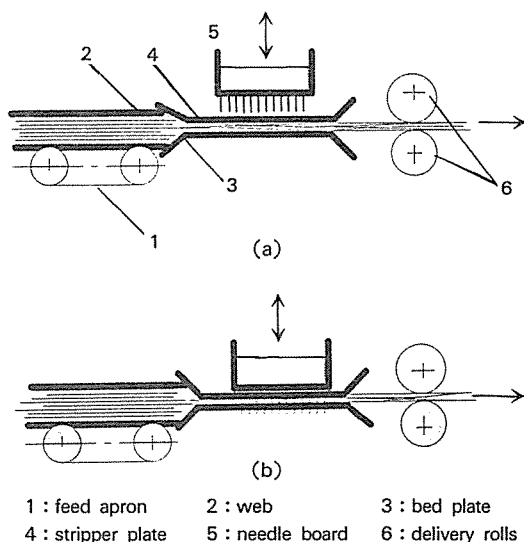


Fig. 1. The principle of needle punching
a) before needle punching
b) after needle punching

나타낸 것이다. 부직포 web을 두 판 사이로 지나게 하면서 측면에 barb가 있는 바늘을 통과시켜 섬유가 3축 방향으로 보강되도록 한다. 부직포의 물성은 사용된 실의 종류, web의 형태, 실의 두께, 실의 길이, 구성사의 배향 등에 따라 다르게 나타나고, 부직포의 물성에 영향을 미치는 공정 요소로는 사용되는 바늘의 종류, 펀칭 밀도, 펀칭 깊이, 판 사이의 거리 등이 있다. Hearl[7~11]등은 부직포의 물성에 영향을 주는 변수에 관하여 연구하였으며 이중 펀칭밀도가 부직포의 물성에 가장 큰 영향을 미치는 요소라는 결론을 얻었다. 부직포의 펀칭밀도가 증가하면 부직포 두께 방향의 보강섬유량이 증가하고 섬유간의 entanglement가 많아지게 된다. 따라서 펀칭밀도가 증가할수록 부직포의 강도가 증가하고 이를 사용하여 만든 복합재료도 기본 물성의 증가를 기대할 수 있다. 그러나 brittle한 섬유를 needle punching해 줄 경우에는 펀칭 공정 중에 섬유의 손상과 절단이 생기게 되므로 펀칭밀도가 증가할수록 부직포의 물성이 감소하게 된다. 따라서 부직포 복합재료의 물성은 섬유간 entanglement에 의한 보강효과와 needle punching시에 발생하는 섬유의 손상으로 인한 효과가 복합적으로 작용하여 결정되며 그 값이 최대가 되는 최적의 펀칭밀도가 존재하게 된다.

본 연구에서는 스티칭 복합재료의 충격 손상 거동[12]에 관한 연구에 이어서 펀칭밀도를 30, 60, 90 penetration/cm²로 변화시킨 부직포 복합재료를 제작하여 펀칭밀도에 따른 부직포 복합재료의 기본 물성의 변화를 고찰하였으며 이를 적층 복합재료의 물성과 비교하였다. 또한 충격실험과 충격후 압축 실험을 통하여 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 충격특성과 반복충격에 대한 구조보지성에 대하여 고찰하였다.

2. 실험

2-1. 실험 재료

부직포 복합재료의 경우 30, 60, 90 penetration/cm² 새가지의 편칭밀도를 갖는 부직포를 보강재로 사용하고 불포화 폴리에스터 수지(내쇼날 합성 S-800 grade)를 기지물질로 사용하여 복합재료 시편을 제작하였다. 지름 13 μ m, 길이 7cm의 E glass 섬유를 carding한 web을 나란하게 14 ply 적층한 parallel-laid card web을 편칭기에서 30, 60, 90 penetration/cm²의 편칭밀도를 갖도록 편칭하여 부직포를 제작하였다. 제작된 세 종류의 부직포는 다량의 아세톤으로 희석하여 점도를 낮춘 불포화 폴리에스터 수지에 함침시키고 24시간 이상 방치하여 B-stage에 이르게 한 뒤 hot press에서 경화시켰다. 이때 함침시킨 수지의 양이 너무 많으면 hot press에서 압력을 가할때 수지가 밖으로 흘러 나오면서 보강섬유의 배향을 흐트리게 되고 반면에 수지의 양이 너무 적으면 수지가 부직포의 일부에만 함침되므로 수지의 양을 적절하게 조절해야 한다. 또한 희석하는 아세톤의 양이 수지를 부직포에 고르게 함침시키는데 중요한 역할을 한다. 본 연구에서 부직포 복합재료를 제작할 때 가장 적절한 부직포와 폴리에스터 수지, 아세톤의 비율은 100 : 120 : 200이었다. 폴리에스터의 개시제로는 benzoyl peroxide(BPO)를 사용하였고 경화제로는 diallyl phthalate(DAP)를 사용하였으며 개시제, 경화제, 폴리에스터 수지의 혼합 비율은 1 : 7 : 100으로 하였다.

적층 복합재료는 18 \times 18 count/in²의 plain weave E glass 섬유 직물을 보강재로 사용하여 8 ply를 적층한 후 동일 수지로 경화시켰다.

최종적으로 만들어진 부직포 복합재료의 수지 함량은 약 45 wt%, 두께는 2.8mm였으며 적층 복합재료의 수지함량은 40 wt%, 두께는 2.7mm였다.

2-2. 기본 물성 실험

기본 물성 실험으로 편칭밀도에 따른 부직포 복

합재료의 인장성질과 굽힘성질 변화를 관찰하였고 적층 복합재료의 물성과 비교하였다. 인장실험은 ASTM3039-76, 굴곡시험은 ASTM D-790 방법에 의해 수행하였다. 인장시험에 사용된 Instron의 load cell은 10 ton의 용량이었고 인장 속도는 5 mm/min으로 하였다. 굴곡시험은 1 ton 용량의 load cell을 사용하였고 cross-head speed는 10 mm/min 지지거리는 10 cm로 하였다. 카드 웹을 사용한 부직포 복합재료의 경우 카딩방향으로 섬유가 배향되어 있기 때문에 이 방향으로의 물성이 가장 우수하게 나타나고 카딩방향과 수직인 방향으로 물성이 가장 나쁘게 나타난다. 적층 복합재료의 경우에도 0°/90° 방향의 물성과 $\pm 45^\circ$ 방향의 물성이 가장 큰 차이를 보인다. 본 연구에서는 물성의 차이가 가장 크게 나타나는 두 방향으로 물성을 측정함으로써 편칭 밀도에 따른 부직포 복합재료의 인장 성질과 굽힘성질의 이방성에 관하여 알아보았으며 적층 복합재료의 이방성과 비교하였다. 인장실험 후 시편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 부직포 복합재료의 적층 복합재료의 파괴 모드를 비교하였다.

2-3. 충격 실험

낙하하중 충격시험기(Drop-Weight Impact Tester)를 사용하여 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 내충격 특성을 관찰하였다. 시편의 크기는 가로 세로 각각 10 cm였으며 충격시험기의 추의 무게는 6.5 kg으로 고정시키고 높이를 달리하여 에너지를 조절하였다. 충격실험에서는 63 J의 에너지를 갖는 충격을 가하여 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 충격 에너지 흡수 능력과 내충격성을 관찰, 비교하였다. 또한 11 J의 낮은 에너지 수준에서 시편이 관통될 때까지 반복 충격을 가한 충격 피로 실험을 통하여 복합재료의 구조보지 능력을 알아 보았다. 충격을 가하지 않은 시편과 충격을 가하여 관통된 시편에 대하여 압축 강도를 측정함으로써 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 충격 손상을 비교하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 인장실험

복합재료의 이방성을 알아보기 위해 부직포 복합재료의 경우 카딩방향과 그 수직방향으로 물성을 측정하였고 적층 복합재료는 $0^\circ/90^\circ$ 방향과 $\pm 45^\circ$ 방향으로 기본물성을 측정하였다. 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 인장강도와 인장계수를 Fig.2에 표시하였다. 부직포 복합재료의 카딩방향 인장강도는 펀칭밀도가 증가함에 따라 증가하였으며 수직방향 인장강도는 약간의 증가가 있기는 했지만 거의 같은 값을 보였다. 적층 복합재료의 $0^\circ/90^\circ$ 방향 인장강도는 부직포 복합재료의 카딩방향 인장강도 보다 높은 값을 보였으며 $\pm 45^\circ$ 방향 인장강도는 부직포 복합재료의 수직방향 인장강도와 거의 비슷한 값을 보였다. 부직포 복합재료는 펀칭밀도가 증가할수록 카딩방향 인장계수는 감소하였으며 수직방향 인장계수는 증가함을 알 수 있었다. 적층 복합재료의 인장계수는 부직포 복합재료의 인장계수 보다 낮은 값을 보였다.

부직포 복합재료의 펀칭밀도가 증가하면 섬유간의 entanglement가 증가하여 인장 하중을 더 잘 전달함으로써 인장강도가 증가하게 된다. 그러나 펀칭에 의해 3축방향으로 섬유가 보강되면서 인장

방향으로 배열되어 있던 섬유들이 3축 방향으로 휘어지게 되므로 인장계수는 펀칭밀도가 증가함에 따라 감소함을 보였다. 부직포 복합재료의 수직방향으로의 인장강도 역시 펀칭밀도가 증가함에 따라 entanglement가 증가하면서 약간씩 증가하였다. 펀칭밀도가 증가함에 따라 수직 방향으로 어느 정도의 섬유가 배열을 이루게 되어 수직방향 인장계수는 증가하는 경향을 보였다.

Fig.3은 인장시험 후 시편의 파단면을 SEM으로 관찰한 것을 보여주고 있다. 적층 복합재료가 부직포 복합재료 보다 보강섬유의 인장방향으로의 배향성이 우수하기 때문에 인장강도가 부직포 복합재료 보다 높은 값을 보임을 알 수 있다. 부직포 복합재료는 펀칭밀도가 증가함에 따라 entanglement가 증가하여 인장강도가 증가하는 반면 섬유의

Table 1. Tensile strength and modulus ratio in nonwoven and woven laminate composites

| Specimen | Tensile Strength ratio(σ_t/σ_l) | Tensile modulus ratio(E_t/E_l) |
|----------|---|------------------------------------|
| 30 ppsc | 0.6196 | 0.5779 |
| 60 ppsc | 0.6146 | 0.6336 |
| 90 ppsc | 0.6163 | 0.7109 |
| woven | 0.5329 | 0.6586 |

σ_l : tensile strength in carding direction
 σ_t : tensile strength in transverse direction
 E_l : tensile modulus in carding direction
 E_t : tensile modulus in transverse direction

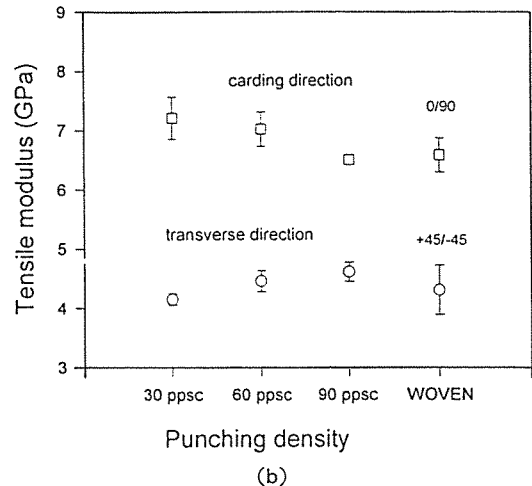
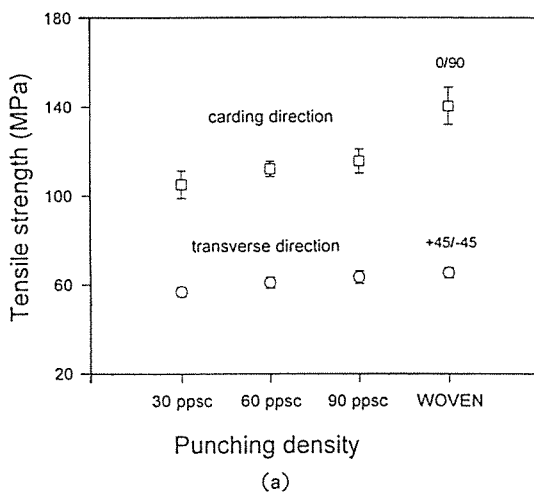


Fig.2. (a) Tensile strength and (b) tensile modulus of needle punched nonwoven and woven laminate composites

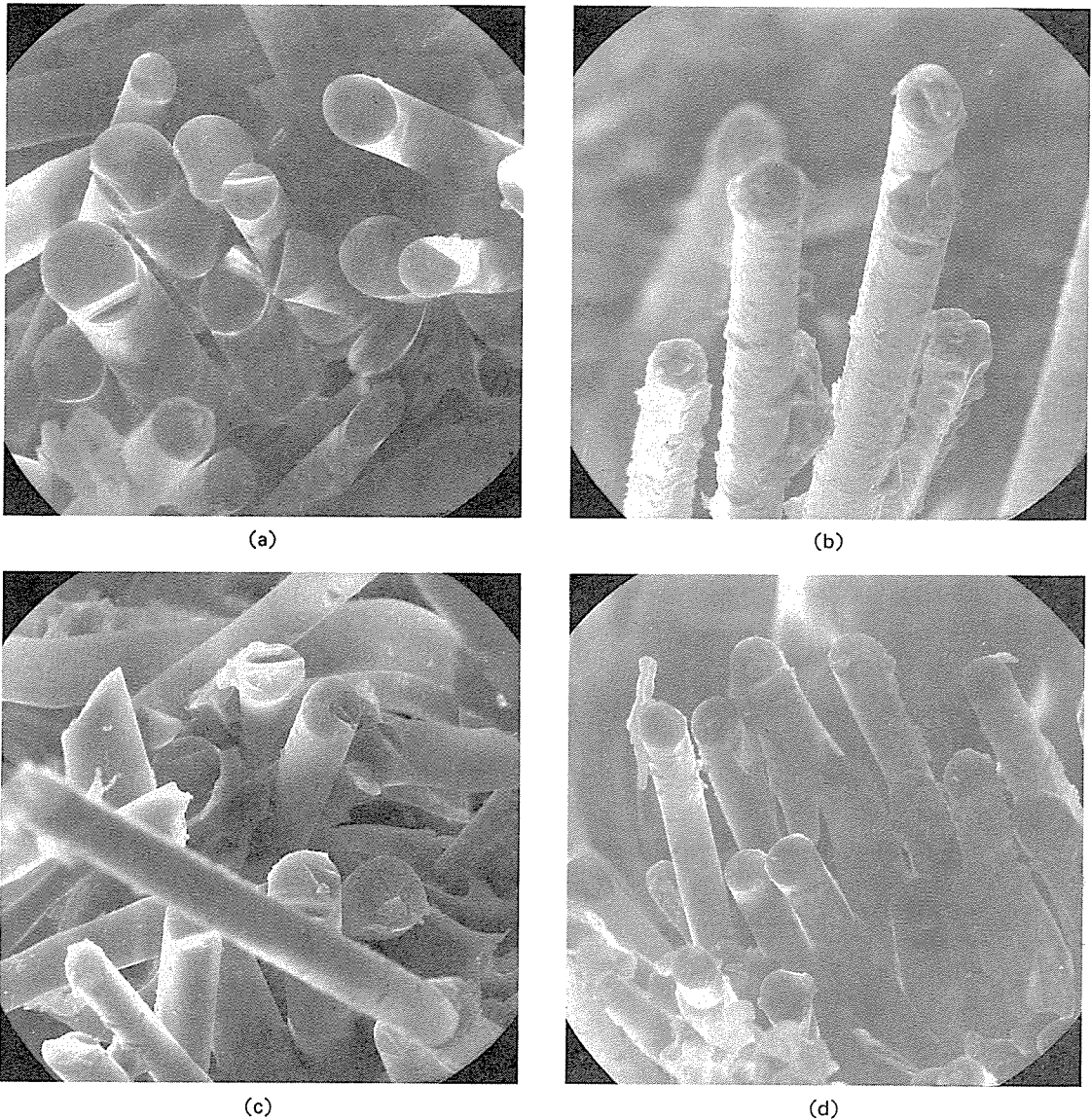


Fig. 3. SEM photography of needle punched nonwoven and woven laminate composites after tensile test
(a) 30 ppsc (b) 60 ppsc (c) 90 ppsc (d) woven

배향이 여러 방향으로 분산되어 인장계수가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1에 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 인장 이방성을 나타내었다. 부직포 복합재료의 인장강도 이방성은 편칭밀도에 상관없이 거의 일정하게 나타났으며 적층 복합재료 보다 낮은 정도의 이방성을 보임을 알 수 있다. 부직포 복합재료의

인장계수의 경우 편칭밀도가 증가할수록 낮은 이방성을 보였으며 편칭밀도가 높을 때 적층 복합재료 보다 낮은 이방성을 보임을 알 수 있었다.

3-2. 굽힘 실험

Fig. 4에 굽힘실험 결과를 나타내었다. 부직포

복합재료의 굽힘강도와 굽힘계수는 펀칭밀도의 증가에 따라 감소하였으며 부직포 복합재료의 굽힘성질이 적층 복합재료의 굽힘성질에 비해 월등히 우수한 것으로 나타났다. 부직포 복합재료의 펀칭밀도가 증가하면 섬유와 매트리스의 인장 파괴가 일어나면서 굽힘성질이 감소함을 알 수 있었다. 적층 복합재료는 굽힘하중이 가해지면 섬유와 매트리스 계면에서의 전단응력으로 인한 층간분리가 일어나면서 파괴가 일어났다. 그러나 부직포 복합재료는 보강 섬유가 3차원 구조를 가지기 때문에 층간분리 현상이 나타나지 않았고 시편의 후면에서 균열이

생기면서 인장 파괴에 의해 파괴가 일어남을 알 수 있었다.

Fig.5는 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 굽힘실험시 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 부직포 복합재료는 굽힘하중이 증가함에 따라 시편의 후면에서 섬유와 매트리스의 인장 파괴가 일어나면서 catastrophic한 파괴를 보였다. 반면에 적층 복합재료는 굽힘하중이 증가하면서 catastrophic한 파괴를 보이지 않고 섬유와 매트리스 계면에서의 전단응력으로 인해 서서히 층간분리가 일어나면서 파괴됨을 알 수 있었다.

Table 2는 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 굽힘성질 이방성을 나타낸 것이다. 펀칭밀도가 증가할수록 보강섬유의 배향이 여러 방향으로 분산되기 때문에 부직포 복합재료의 굽힘성질은 펀칭밀도가 증가할수록 낮은 이방성을 보이게 된다.

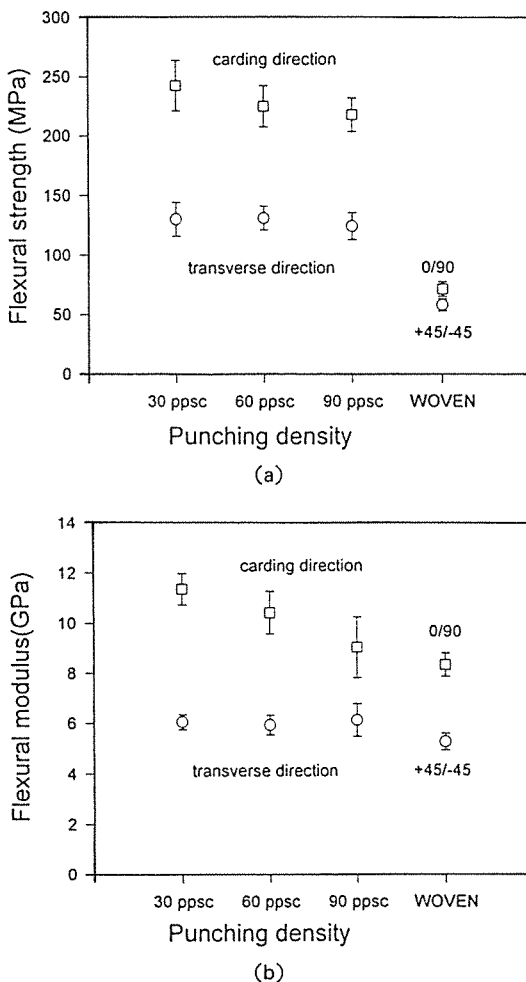


Fig. 4. (a) Flexural strength and (b) flexural modulus of needle punched nonwoven and woven laminate composites

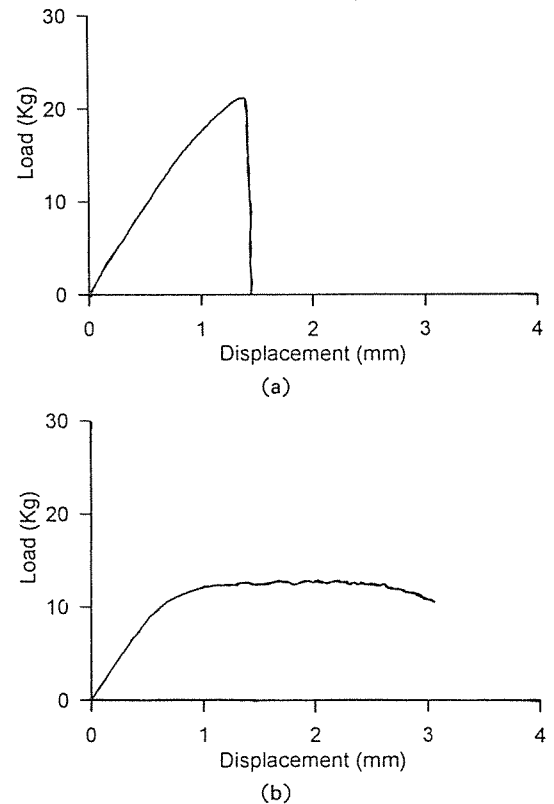


Fig. 5. Flexural load-displacement curve for (a) nonwoven composite and (b) woven laminate composite

Table 2. Flexural strength and modulus ratio in nonwoven and woven laminate composites

| Specimen | Flexural strength ratio(σ_t/σ_l) | Flexural modulus ratio(E_t/E_l) |
|----------|--|-------------------------------------|
| 30 ppsc | 0.5415 | 0.5396 |
| 60 ppsc | 0.5778 | 0.5722 |
| 90 ppsc | 0.5726 | 0.6809 |
| woven | 0.8250 | 0.6417 |

σ_l : flexural strength in carding direction
 σ_t : flexural strength in transverse direction
 E_l : flexural modulus in carding direction
 E_t : flexural modulus in transverse direction

적층 복합재료는 층간 성질에 의하여 굽힘성능이 결정되기 때문에 3차원 구조를 갖는 부직포 복합재료 보다 낮은 이방성을 보임을 알 수 있다.

3-3. 충격 실험

부직포 복합재료와 적층 복합재료에 63 Joule의 에너지 수준에서 낙하하중에 의한 충격을 가하여 시편이 관통되면서 흡수하는 에너지를 비교하였다. Fig. 6은 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 에너지 흡수능력을 나타낸 것이다. 부직포 복합재료는 펀칭밀도가 낮을수록 높은 에너지 흡수능력을 보였으며, 적층 복합재료의 에너지 흡수 능력은 펀칭밀도 60 penetration/cm²의 펀칭밀도를 갖는 부직포 복합재료와 비슷한 값을 보였다.

Table 3에 충격시험시 시편이 흡수하는 에너지와 최대 하중, 변형 등을 나타내었다. 부직포 복합재

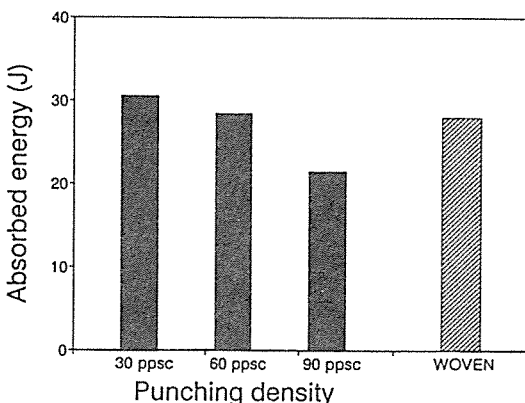


Fig. 6. Total absorbed energy of needle punched nonwoven and woven laminate composites at the energy level of 63 Joule

Table 3. Energy absorption capability of needle punched nonwoven composites and woven laminate composite at the energy level of 63 J

| Specimen | 30 ppsc | 60 ppsc | 90 ppsc | woven |
|---------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Max. load(N) | 4391 | 3948 | 3082 | 3746 |
| Max. displacement(mm) | 5.86 | 5.96 | 6.08 | 7.14 |
| Initiation energy, Ei(J) | 17.2 | 15.8 | 12.1 | 14.8 |
| Propagation energy, Ep(J) | 13.4 | 12.7 | 9.4 | 13.2 |
| Total absorbed energy(J) | 30.6 | 28.5 | 21.5 | 28.0 |
| Ductility index(Ep/Ei) | 0.78 | 0.80 | 0.78 | 0.89 |

료는 외부 충격이 가해졌을 때 시편의 변형이 적게 일어나는 대신 시편이 받는 최대 하중이 크게 나타나고, 적층 복합재료는 변형이 많이 일어나지만 충격시 시편이 견딜수 있는 최대 하중은 작게 나타났다. 부직포 복합재료는 3차원 구조를 지니고 굽힘계수가 크기 때문에 적층 복합재료 보다 변형이 적고 하중이 크게 나타나고, 적층 복합재료는 층간분리가 일어나면서 충격 에너지를 흡수하기 때문에 최대하중이 작고 많은 변형이 일어나는 것으로 생각된다. 충격 후 시편의 후면을 관찰해 보면 부직포 복합재료는 충격이 가해졌을때 시편의 후면에 많은 균열이 생기는 것을 관찰할 수 있었고, 적층 복합재료는 이와 같은 균열은 생기지 않지만 시편 전체의 변형이 부직포 복합재료 보다 심하게 나타났다. 이와 같은 현상은 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 굽힘성질과 일치하는 것으로 충격에너지 흡수 기구가 굴곡 파괴 현상과 많은 연관이 있음을 보여준다. 시편의 파괴가 시작될 때까지 흡수한 개시에너지로 시편이 파괴된 후 흡수한 전파 에너지를 나누어준 값인 ductility index는 적층 복합재료가 부직포 복합재료 보다 높게 나타났다. 부직포 복합재료의 경우 전파 에너지의 양이 적으므로 시편 손상 범위가 적층 복합재료에 비해 적을 것이라고 생각할 수 있다.

3-4. 반복 충격 실험

Fig. 7은 11 J의 에너지 수준에서 반복충격을 가했을 때 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 에너지 흡수 능력 변화를 보인 것이다. 30 penetration/cm²

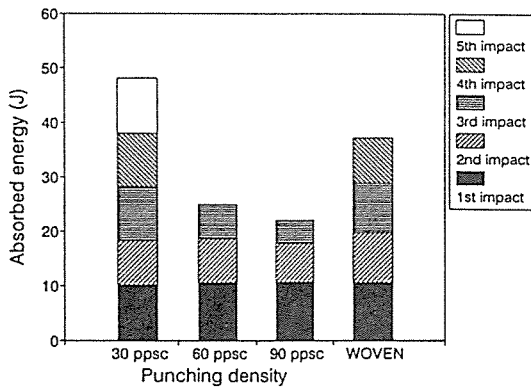


Fig. 7. Total absorbed energy of needle punched nonwoven and woven laminate composites in repeated impact at the energy level of 11 Joule

의 편칭밀도를 갖는 부직포 복합재료는 5회의 충격을 가할 때까지 에너지 흡수능력을 유지하였으며 60, 90 penetration/cm²의 편칭밀도를 갖는 부직포 복합재료는 3회의 충격에 의해 시편의 관통이 일어났다. 적층 복합재료는 4회의 충격에서 시편의 관통이 일어났다. 적층 복합재료는 충격을 가했을 때 시편에서 층간분리와 함께 bulging과 같은 심한 변형이 일어나면서 에너지 흡수능력을 유지하게 된다. 30 penetration/cm²의 편칭밀도를 갖는 부직포 복합재료는 3축 방향으로 보강된 섬유에 의해 충격하중을 시편에 고르게 분산시킴으로서 반복 충격에 대한 저항 능력이 우수하게 나타난다. 이에 비해 60, 90 penetration/cm²의 편칭밀도를 갖는 부직포 복합재료는 지나친 편칭으로 인하여 보강 섬유가 많이 절단되어 시편의 파괴 개시가 쉬워질 뿐만 아니라 보강섬유의 entanglement가 많기 때문에 충격시 에너지 전파까지 억제하게 되어 적층 복합재료 보다 반복 충격에 대한 구조 보지 능력이 나쁘게 나타남을 알 수 있었다.

3-5. 잔여 압축강도 실험

(Compression-after-Impact-Test)

Fig. 8에 부직포 복합재료와 적층 복합재료의 충격 전후 압축강도를 나타내었다. 3차원 구조를 갖는 부직포 복합재료의 압축강도는 적층 복합재료의

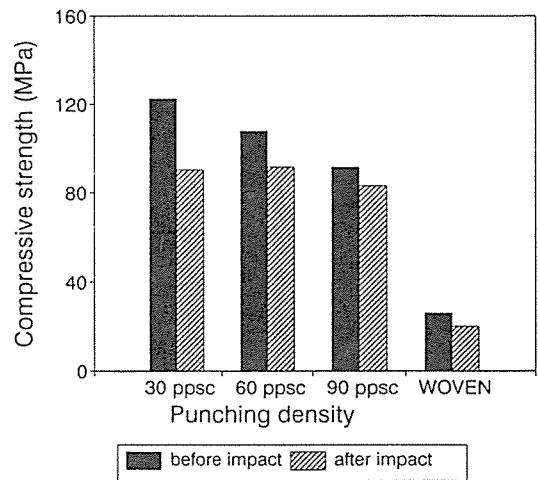


Fig. 8. Compression strength of needle punched nonwoven and woven laminate composites before and after impact test

압축강도 보다 월등히 우수함을 보였으며 충격 후에도 부직포 복합재료의 압축강도가 우수하게 나타났다. 부직포 복합재료의 충격 전후 압축강도는 편칭밀도가 낮을수록 높게 나타났다. 그러나 압축강도 감소율은 편칭밀도가 증가할수록 적어져서 90 penetration/cm²의 편칭밀도를 갖는 부직포 복합재료가 가장 적게 나타났다. 편칭밀도가 증가할수록 시편이 외부충격을 받았을때 에너지를 잘 전파하지 못하게 되어 손상이 적게 일어나는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

편칭밀도에 따른 부직포 복합재료의 인장, 굽힘, 충격 성질의 변화를 관찰하고 적층 복합재료의 물성과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 편칭밀도의 증가에 따라 보강섬유의 entanglement가 증가하여 인장강도는 증가하고, 보강섬유의 배향이 변화하게 되어 인장계수는 감소하였다. 적층 복합재료가 인장방향으로 보강섬유의 배향이 좋기 때문에 부직포 복합재료 보다 높은 인장 강도를 나타냈다.

(2) 편칭밀도가 증가할수록 섬유의 손상이 많아져서 부직포 복합재료의 굽힘강도가 감소하였으며

충간분리를 억제하는 부직포 복합재료가 적층 복합재료 보다 높은 굽힘특성을 보였다.

(3) 부직포 복합재료의 펀칭밀도가 증가할수록 보강섬유의 배향이 변화하여 인장성질과 굽힘성질이 낮은 이방성을 나타내었다.

(4) 충격에 의한 에너지 흡수능력은 펀칭밀도가 증가할수록 감소하였으며 반복충격에 대한 구조보지 능력 또한 펀칭밀도가 낮을수록 우수하여 펀칭밀도 30 penetrations/cm²의 시편이 가장 우수하게 나타났다.

(5) 압축강도는 부직포 복합재료가 적층 복합재료 보다 월등히 우수하였으며 충격으로 인한 압축강도의 저하는 에너지의 전파가 잘 되지 않는 펀칭밀도 90 penetrations/cm²의 부직포 복합재료가 가장 적게 나타났다.

(6) 부직포 복합재료는 적절한 펀칭밀도로 펀칭을 해줌으로써 기계적 물성과 내충격성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 95년도 교육부 학술연구조성비(신소재 분야)에 의하여 연구된 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. P. Popper and R. McConell, "A New 3-D Braid for Integrated Parts Manufacturing and Improved Delamination Resistance-The 2-Step Process", 32nd International SAMPE Symposium and Exhibition, 1983, pp.92.
2. A. Mayadas, C. Pastore and F. K. Ko, "Tensile and Shear Properties of Composite by Various Reinforcement Concepts", 30th International SAMPE Symposium, 1985.
3. E.R. Stover, W.C. Mark, "Preparation of an Omniweave-Reinforced Carbon-Carbon Cylinder as a Candidate for Evaluation and Advanced Heat Shield Screen Program", AFML-TR-70-283, 1971.
4. R.M. Pelstring and R.C. Madan, "Stitching to improve damage tolerance of composites", 34th International SAMPE Symposium, 1989.
5. Thomas F. Gilmore, *Nonwoven Fabric Technologies*, Textile and Apparel Management Dept. College of Textiles, North Carolina State University.
6. Valav Mrstina and Frantisik Fejgl, *Needle Punching Textile Technology*, Wool Research Institute, Brno, Czechoslovakia.
7. J.W.S. Hearl, and M.A.I. Sultan, "A Study of needled fabrics Part 1: Experimental Method and Properties", Journal of the Textile Institute, 1967, pp.251.
8. J.W.S. Hearl, and M.A.I. Sultan, "A Study of needled fabrics Part 2: Effect of needling process", Journal of the Textile Institute, 1968, pp.103.
9. J.W.S. Hearl, and M.A.I. Sultan, "A Study of needled fabrics Part 3: The influence of fiber type and dimensions", Journal of the Textile Institute, 1968, pp.137.
10. J.W.S. Hearl, and M.A.I. Sultan, "A Study of needled fabrics Part 4: The effect of stretch, shrinkage, and reinforcement", Journal of the Textile Institute, 1968, pp.161.
11. J.W.S. Hearl, and M.A.I. Sultan, "A Study of needled fabrics Part 5: The approach to theoretical understanding", Journal of the Textile Institute, 1968, pp.183.
12. 이승호, 강태진, 김종섭, "Textile Composite의 구조와 물성(1)-스티칭 복합재료의 충격 손상 거동", 한국복합재료학회지, 제8권, 제1호, 1995, pp.58-65.